

## 技術開発報告書

### 2.2 アワビ養殖における半循環型 省エネルギー化システムの実証実験

実施事業者：株式会社ジャパンアクアテック

# 技術開発報告書 目次

## I 課題名

## II 実施主体名

## III 技術開発の内容

### 1 事業の目的

### 2 技術開発の概要

#### 2.1 技術開発の内容

#### 2.2 技術開発の方法

### 3 技術開発の結果

#### 3.1 給水量の臨界点調査実験

#### 3.2 アンモニア態 N 排泄量調査実験

#### 3.3 本飼育実験設備製作

#### 3.4 本飼育実験

#### 3.5 循環型システムに必要な補足調査と対策検討

### 4 技術開発の評価

### 5 導入のあり方

# 技術開発報告書

## I 課題名

アワビ養殖における半循環型省エネルギー化システムの実証実験

## II 実施主体名

株式会社ジャパンアクアテック

## III 技術開発の内容

### 1 本事業の目的

現在のアワビ類の種苗生産・中間育成は全国各地で行われており、大半は放流事業向けに利用され、資源確保と環境保全に一定の効果を挙げている。しかし、その生産コストは比較的高く、費用対効果の面からも現状よりも生産コストを低減させることが今後の資源確保や養殖業の発展のために重要である。

この生産コストは設備費、人件費、ランニングコスト等で構成されるが、中でも揚水に掛かる電気代が大きな割合を占めている。

そこで生産コストを低減させるために従来型のアワビ養殖にろ過設備を有した半循環型システムを組入れ、飼育水を繰り返し利用すれば揚水に掛かる電気代が大幅に削減でき、生産の高効率化・省エネルギー化を図ることが可能である。本事業では揚水量の削減目標を平成 20 年度事業計画時当初に設定した 50%と、挑戦の意味で新たに 75%を設定し、アワビの成長状況に留意しつつ、可能な限りより高い削減率を目指すこととした。

また、飼育水温を成長に最適となるように維持することにより生産期間を短縮し、施設規模を含むランニングコストを大幅に削減できる。この場合、水温コントロールに掛かるエネルギーも揚水量にほぼ比例して削減できるので、アワビ養殖における省エネルギー化と全般的なコストの削減を図ることができる。

本事業ではこの半循環型システムの開発による省エネルギー化実証実験を行なうことを目的とした。

## 2 技術開発の概要

### 2.1 技術開発の内容

平成 20 年度、21 年度の 2 年間で図 2.1-1 の内容を実施した。

## 技術開発の内容

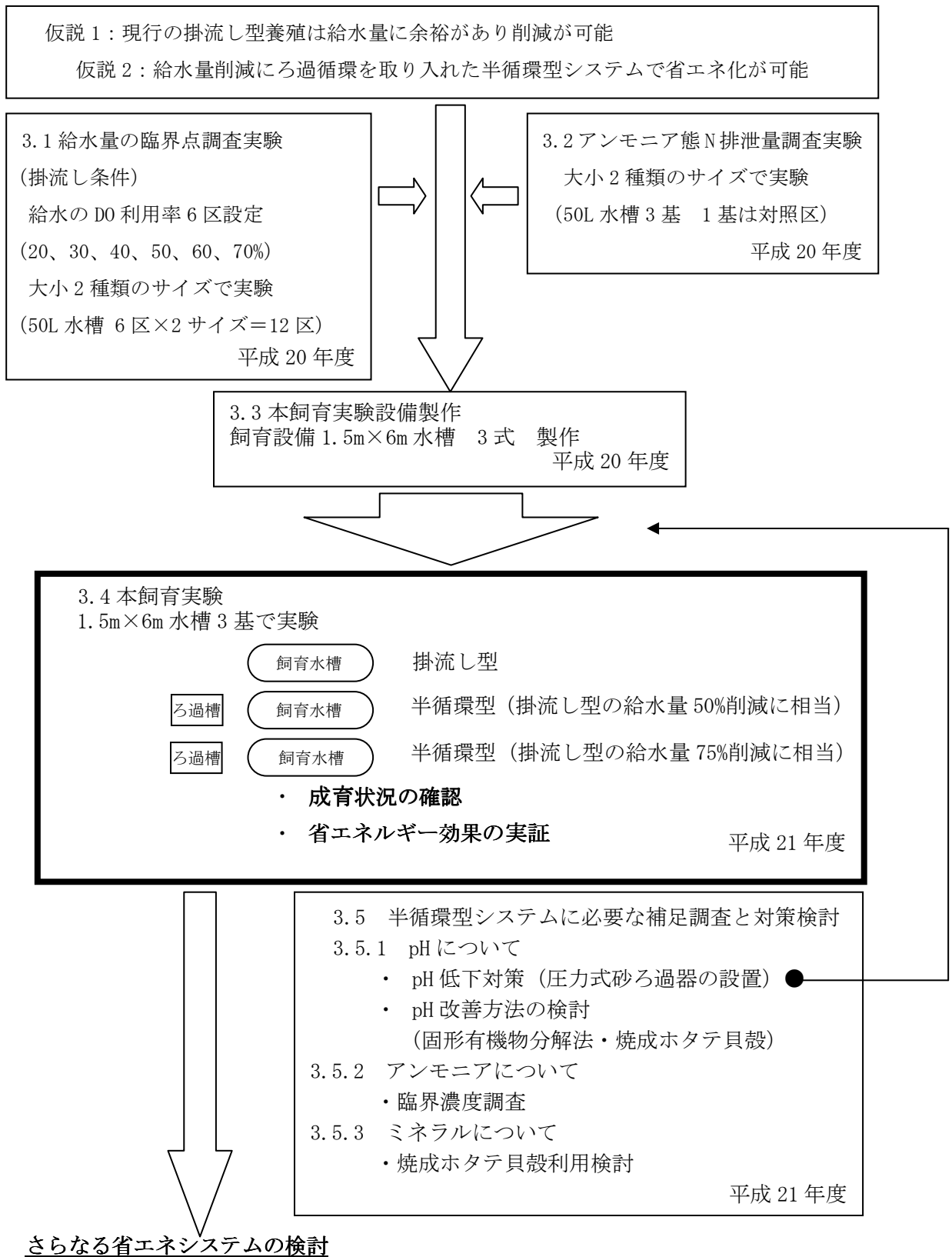


図 2.1-1 技術開発フロー図

## 2.2 技術開発の方法

平成 20 年度は給水量の臨界点調査実験及びエゾアワビのアンモニア態 N 排泄量調査実験を行ない、省エネルギー効果実証実験に必要な設備製作を行なった。平成 21 年度は、平成 20 年度に製作した水槽に改善を加え、飼育実験を行ない、半循環型システムの省エネルギー効果を実証した。また、さらなるシステムの省エネ化の際に必要なと考えられる pH 低下への対策と、ミネラルの補充方法についても検討を行なった。

実施期間：平成 20 年度 平成 20 年 8 月 19 日～平成 21 年 3 月 31 日  
(平成 20 年度交付決定：平成 20 年 8 月 19 日)

平成 21 年度 平成 21 年 4 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日  
(平成 21 年度交付決定：平成 21 年 6 月 26 日)

実施場所：長崎県松浦市今福町

実施設備：下図、写真参照

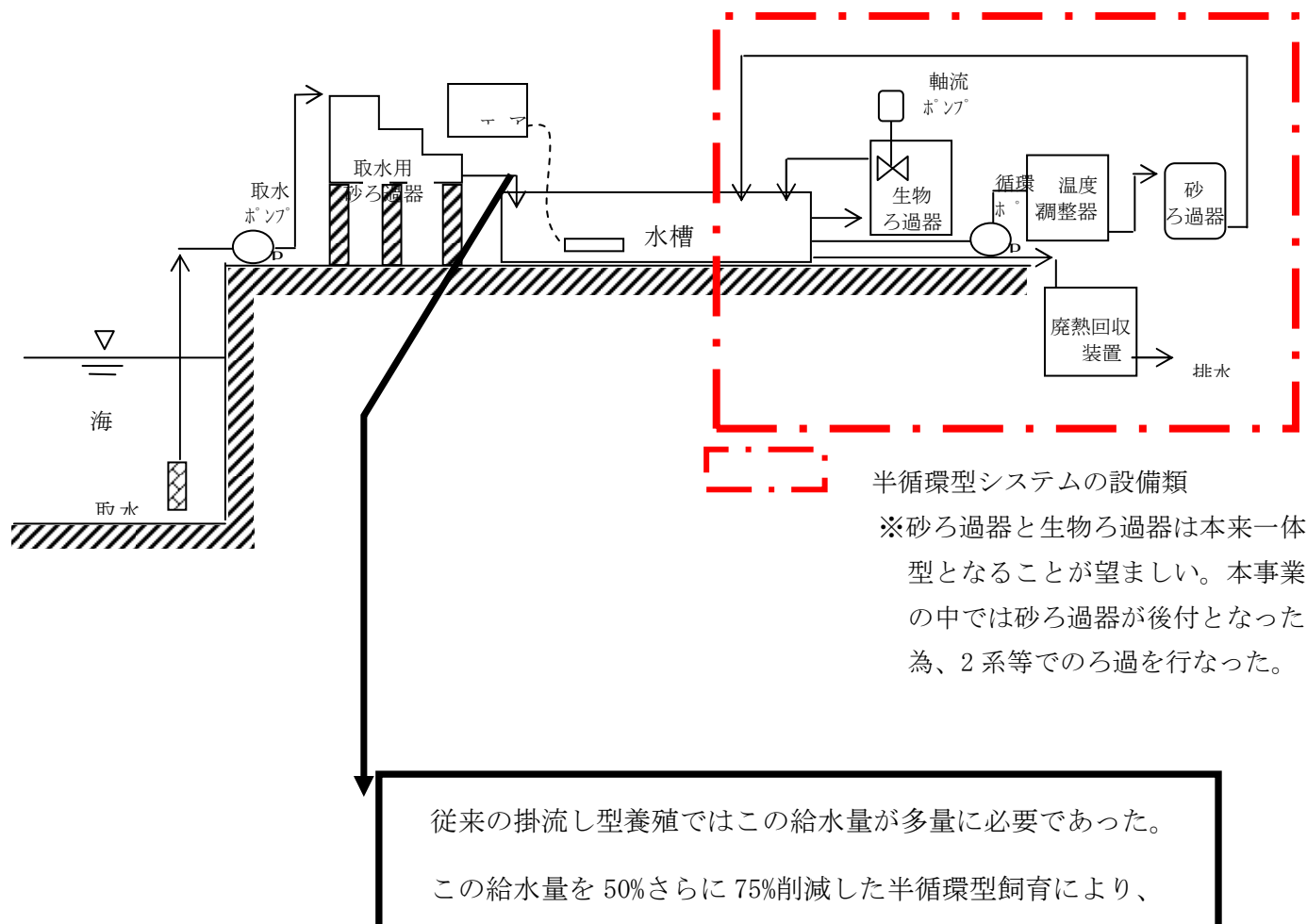


図 2.2-1 省エネ実証設備概略図



図 2.2-2 省エネ実証設備

上写真：建屋外観

### 3. 技術開発の結果

#### 3.1 給水量の臨界点調査実験

##### (1) 目的

従来のアワビの掛流し型飼育方法は多量の給水を必要とするが、その臨界水量については調べられていない。そこで、アワビの成長速度と給水量の関係を飼育実験から明らかにし、給水量の臨界点を求めることを目的とした。

##### (2) 材料・方法

ア 実験期間：平成 21 年 2 月 10 日～平成 21 年 3 月 10 日

イ 材料：エゾアワビ・・・39mm サイズ各実験区 50 個、52mm サイズ各実験区 40 個  
実験設備・・・50L 水槽（有効水量 43L） 12 基（6 区×2 サイズ=12 区）

ウ 設定：給水の DO 利用率が各 20%、30%、40%、50%、60%、70%の 6 区

給水量はアワビの呼吸量（給水中の溶存酸素 DO の呼吸による利用率）を基準に設定した。例えば、DO 利用率 20%の給水量という場合は、給水中の DO(飽和度 100%と仮定)の 20%がアワビにより消費されるという計算上の給水量である。

エ 方法：飼育方法・・・掛流し型（無通気）

給 餌・・・配合飼料を毎日夕方 1 回給餌

水温管理・・・ウォーターバス方式で全水槽 17.0～17.5℃に設定

測定項目・・・水質：水温、pH、DO、塩分濃度（毎日）

アンモニア態 N、硝酸態 N をパックテストで測定（適時）

成長：殻長、体重

（実験開始時、2 週間後、4 週間後に全数測定）

状態・死貝：毎日観察

残餌把握：残餌状況を写真撮影

##### (3) 結果

酸素利用率 60%、70%の 2 区は 39mm サイズ、52mm サイズ共に斃死が多発した為、実験を中止した。エアレーションなしの掛流し型条件（水温 17.0～17.5℃）で飼育実験を行なった結果、39mm サイズでは給水量を減らすと成長の停滞が確認され、52mm サイズでは酸素利用率 30%まで給水量を削減した場合においても酸素利用率 20%の給水量の区と同成長を示した。（参照 図 3.1-1）

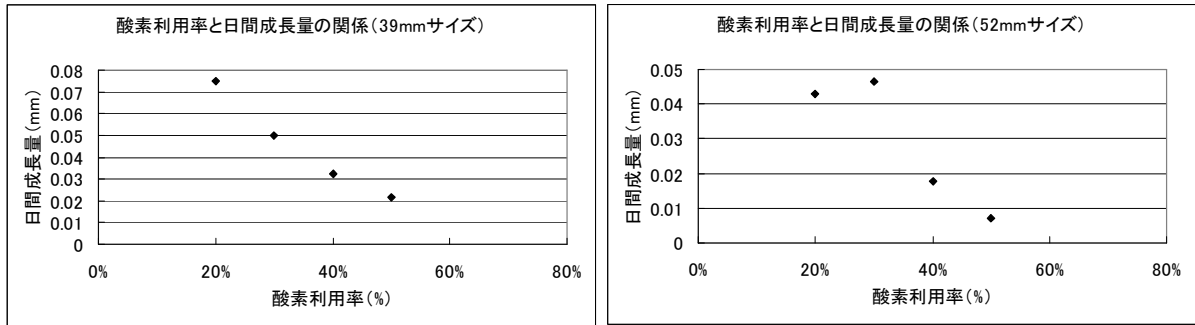


図 3.1-1 酸素利用率と日間成長量の関係

#### (4) 考察

大型貝の方が給水量を削減できる割合が高くなることを確認した。給水量を削減することで生じる成長の停滞要因は、pH の低下、若しくはアンモニア態 N 濃度の上昇である可能性が示唆された。

### 3.2 アンモニア態 N 排泄量調査実験

#### (1) 目的

給水を削減し半循環型に移行するには、ろ過設備によるアンモニアの浄化が必要と考えられた。そこで、アワビのアンモニア態 N 排泄量を調査し、半循環型に必要なろ過槽の規模策定に反映させることを目的とした。

#### (2) 材料・方法

ア 実験期間：平成 21 年 3 月 11 日 18 時～3 月 12 日 16 時 (22 時間)

イ 材料：エゾアワビ・・・37mm (6.5g) サイズ 55 個、50mm (15.2g) サイズ 34 個  
 実験設備・・・50L 水槽 (有効水量 43L) 3 基 (内 1 基は対照区)

ウ 方法：飼育水を十分に交換してアンモニア態 N 濃度 0mg/L を確認した後、止水条件下でアンモニア態 N 濃度の経時変化を測定した。単位時間あたりのアンモニア態 N 濃度上昇値を、飼育中のアワビの総重量で割ることで、1 時間あたり、体重当たりのアンモニア態 N 排泄量 (mg/kg・h) を求めた。飼育水温設定は 18℃で、エアレーションによる酸素供給を行った。

(3) 結果

飼育水中のアンモニア態N濃度は時間に比例して上昇が見られた。下記計算により、アワビの基礎代謝に伴うアンモニア態N排泄量（飼育水温 18℃）は、37mm サイズで 1.6mg/kg・h、50mm サイズで 1.3mg/kg・h であった。この結果をもとに、給水量を削減した時に必要となるろ過槽の規模を算定し、設備製作の基準とした。

アンモニア態N排泄量計算方法

ア 収容重量

収容量 37mm、6.5g、55 個より  $6.5\text{g} \times 55 \text{ 個} = 357.5\text{g} \dots\dots A$

収容量 50mm、15.2g、34 個より  $15.2\text{g} \times 34 \text{ 個} = 516.8\text{g} \dots\dots B$

イ 飼育水量 各区 43L

ウ 飼育水中のアンモニア態N濃度上昇値

37mm サイズ収容区

飼育水中のアンモニア態N濃度変化をCとすると、測定結果より

$C \text{ (mg/L)} = 0.0136 \times \text{経過時間 (時間)} - 0.0302$  の式が得られた。

飼育水量 43L より、収容アワビ全体の1時間あたりのアンモニア態N排泄量Dは、

$$D = \{(0.0136 \times 2 \text{ 時間} - 0.0302) - (0.0136 \times 1 \text{ 時間} - 0.0302)\} \times 43\text{L} \\ = 0.5848\text{mg} \text{ となる。}$$

50mm サイズ収容区

飼育水中のアンモニア態N濃度変化をEとすると、測定結果より

$E \text{ (mg/L)} = 0.0162 \times \text{経過時間 (時間)} - 0.0029$  の式が得られた。

排泄量をFとすると、37mm サイズ同様に計算して

$F = 0.6966\text{mg}$  となる。

エ 1時間あたり、体重当たりのアンモニア態N排泄量 (mg/kg・h)

7mm サイズ区

A、Dより  $0.5848 / (357.5/1000) \doteq 1.6 \text{ (mg/kg・h)}$

50mm サイズ区

B、Fより  $0.6966 / (516.8/1000) \doteq 1.3 \text{ (mg/kg・h)}$

### 3.3 本飼育実験設備製作

給水を削減しても水質浄化機能によりアワビの適正な飼育が行なえる半循環型水槽設備を製作した。30mm サイズ 50,000 個が生産できる設備規模とした。

飼育水槽	1.5m×6m×水深0.5m (4.5m <sup>3</sup> 水槽)	3基	} 平成 20 年度製
生物ろ過槽	1.7m×1.2m×高さ0.7m	3基	
温度調節装置		3基	
取水用砂ろ過器		1基	
熱回収装置		1基	
圧力式砂ろ過器		3基・・・平成 21 年度増設	

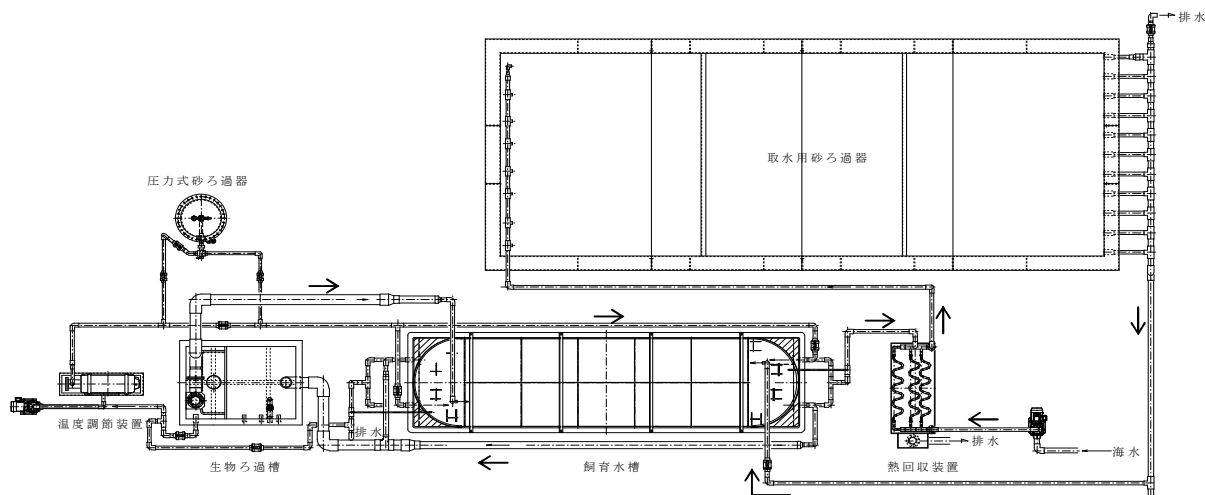


図 3.3-1 飼育水槽の配管系統図



飼育水槽



生物ろ過槽



温度調整装置



取水用砂ろ過器



図 3.3-2 実験用設備

### 3.4 本飼育実験

#### 3.4.1 飼育実験

##### (1) 目的

給水量を削減してもアワビの飼育に影響を与えない pH 低下防止対策を整えた半循環型システムを用い、アワビ飼育実験を通して省エネ効果を実証することを目的とした。

##### (2) 材料・方法

ア 実験期間：平成 21 年 11 月 9 日～平成 22 年 2 月 24 日

イ 材料：エゾアワビ

各実験系の収容サイズおよび個数 殻長 35mm 6,000 個(シェルター占有率 30%)

実験終了時の目標 殻長 45mm 6,000 個(シェルター占有率 50%)

実験設備・・・1.5m×6m 巡流式水槽 3 基

※申請時は 10mm サイズでの飼育開始を予定していたが、大型貝の方が給水量を削減できることが判った為、準備していた貝（35mm に成長）を用いることにした。

ウ 設定：

実験系 1 従来型掛流し方式

実験系 2 半循環型システム 従来型の給水量の 50%削減に相当

実験系 3 半循環型システム 従来型の給水量の 75%削減に相当

※給水量とは新鮮水のことを示す。

表 3.4.1-1 各実験系の給水量と再生水量(実験終了時 45mm 6,000 個飼育時の水量)

	実験系 1	実験系 2	実験系 3
	従来型掛流し	半循環型システム	半循環型システム
給水量 (L/min)	203	102 (50%削減)	51 (75%削減)
再生水量 (L/min)			
生物ろ過通過水	0	60(1 回転/h)	120(2 回転/h)
圧力式砂ろ過器通過水	0	60(1 回転/h)	60(1 回転/h)
合計 (L/min)	203	222	231

※給水量を絞るほど、再生水量を増やす設定とした。圧力式砂ろ過器通過水量を実験系 2、3 で同一にしたのは、アワビ飼育では SS 等の発生が少なく、物理ろ過を目的とする処理量は 1 回転/h で十分と予測したためである。

※全体のエネルギーは給水量（新鮮水量）を削減した方が小さくなる。

#### エ 方法：

給 餌・・・塩蔵コンブ、配合飼料を毎日夕方 1 回給餌

水 温 管 理・・・実験系 1 の飼育水温に合わせる。基本的に温調なし。

測 定 項 目・・・水質：水温、pH、DO、塩分（毎日測定）。アンモニア態 N、亜硝酸態 N、硝酸態 N、COD は適時測定した。Ca イオン濃度は実験系 3 と他の実験系に差がないか確認の為測定した。

成 長・・・開始時は各実験系 100 個、2 ヶ月後（1 月上旬）、4 ヶ月後（2 月下旬）には各実験系 600 個ずつ殻長及び体重を計測した。

使用電力量・・・実験設備全体に取り付けた電力計を毎日チェックした。実験中、数回、機器別に瞬間使用電力を測定し、系列毎の使用電力量を実測した。

### (3) 結果

#### ア 水質

飼育水温は実験系 1 の自然水温と他の実験系の水温を合わせたことから、全実験系はほぼ同様の変化を示した。しかし、給水量が少ない実験系では外気温の影響を受け、暖かい日の飼育水温は実験系 3 > 実験系 2 > 実験系 1、寒い日の飼育水温は実験系 1 > 実験系 2 > 実験系 3 になる傾向があった。実験期間中の積算温度では実

験系 1 を基準とした場合、実験系 2 がプラス 23℃、実験系 3 がプラス 23.5℃であり、飼育日数 108 日で割ると、約 0.2℃高くなっていた。pH は実験系間で僅かに差が見られ、pH 約 8.0～8.1 の間で実験系 1>実験系 2>実験系 3 の傾向がみられた。DO は全実験系ほぼ 100%であった。塩分は実験期間を通して 34‰で、雨天時でも 33‰であった。アンモニア態 N は全実験系 0.2mg/L 以下を示し、差は見られなかった。亜硝酸態 N は全実験系 0.01mg/L 以下を示し、これについても差は見られなかった。硝酸態 N は実験系間で差が見られ、0.08～0.16mg/L の間で実験系 3>実験系 2>実験系 1 の傾向が見られた。Ca イオンは、実験系 1>実験系 2>実験系 3 の傾向があり、最も給水量が少ない実験系 3 では取水と比較して、約 9 割の濃度となった。BOD については実験系間で明確な差は見られなかった。

	水温 (℃)	pH	DO (%)	塩分 (%)	アンモニア態N (mg/L)	亜硝酸態N (mg/L)	硝酸態N (mg/L)	Caイオン (mg/L)	BOD (mg/L)
取水	13.5～22℃ (実験系 2, 3 は 実験系 1 よりも約 0.2℃高かった)	8.13	100	33～34	0.2以下	0.005以下	0.1以下	104	0.4以下
実験系 1		8.10				0.01以下	0.08	102	0.5
実験系 2		8.06				0.11	95	0.4以下	
実験系 3		8.01				0.16	94	0.4	

表 3.4.1-2 本飼育実験期間中の水質

#### イ 成長

設定した実験系間では、給水を絞っても成長の停滞は見られなかった。給水を減らすと外気温の影響で飼育水温が僅かに高くなっており、成長は水温に比例して、実験系 3>実験系 2>実験系 1 の結果となった。(参照 表 3.4.1-3、図 3.4.1-1) Ca イオンについても、表 3.4.1-2 で示した範囲内であれば成長に影響がなことが明らかとなった。

表 3.4.1-3 各実験系の成長結果

		殻長 (mm)			体重 (g)		
		実験系 1	実験系 2	実験系 3	実験系 1	実験系 2	実験系 3
開始時	開始時	35.58	35.12	35.28	5.31	5.04	5.08
	標準偏差	3.20	3.35	3.36	1.42	1.55	1.48
	最大	43.10	42.30	43.00	9.22	8.89	8.46
	最小	27.20	26.30	28.10	2.22	2.22	2.56
2カ月後	平均	37.07	36.86	38.18	6.21	6.25	6.90
	標準偏差	3.79	3.93	3.98	2.09	2.22	2.24
	最大	47.20	50.40	49.00	12.94	14.18	14.81
	最小	27.20	27.50	27.80	2.14	1.76	2.39
4カ月後	平均	38.83	38.93	39.43	7.23	7.47	7.85
	標準偏差	4.13	4.41	4.54	2.54	2.71	2.89
	最大	50.00	52.70	55.30	14.74	17.94	21.10
	最小	28.60	26.40	28.60	1.10	2.23	2.41
成長量(4ヶ月間)		3.25	3.81	4.16	1.92	2.44	2.77
日間成長量		0.030	0.035	0.037	0.018	0.022	0.025

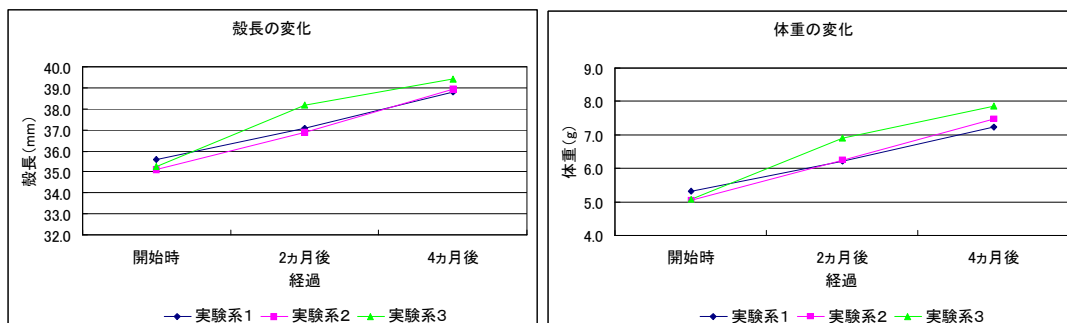
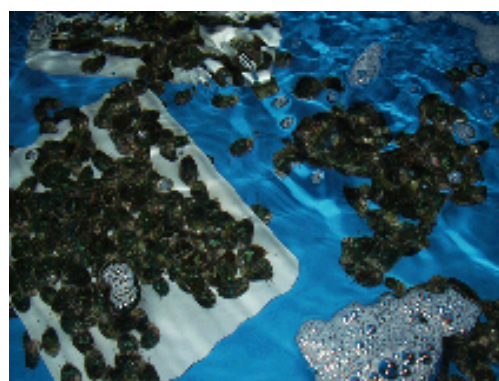


図 3.4.1-1 各実験系の成長結果



アワビ稚貝受け入れ



本飼育実験中のアワビ

図 3. 4. 1-2 アワビ飼育状況

#### ウ 歩留まり

実験系間で斃死率に明瞭な差は見られなかった。全実験系共に斃死が発生したが、小さな個体が主であり、本飼育実験開始前の水質および飼育作業の改善対策段階で影響を受けたと考えられる個体であった。

表 3. 4. 1-4 各実験系の斃死状況

	実験系 1	実験系 2	実験系 3
収容個数(個)	6,000	6,000	6,000
斃死数(10/29~2/24) (個)	1,307	1,298	1,349
生残数 (個)	4,693	4,702	4,651
日間斃死率 (%)	0.19	0.18	0.19

#### (4) 考察

従来型掛流し方式の給水量の75%削減に相当する実験系3でも成長の停滞は見られず、適正な飼育を行なえることが実証され、さらなる給水量削減が可能と推察された。今後の課題として、給水を削減すると pH が低下する傾向が見られ、実験系3の pH 値は 8.0 付近であり、さらに給水量を削減した場合には pH 改善対策が必要になると考えられた。

### 3.4.2 省エネルギーの効果

表 3.4.1-1 に示した条件で本飼育実験を行なった。各実験系の使用電力は下表のとおりで、実験系 1 を基準とした場合、エネルギー削減率は実験系 2 で約 19%、実験系 3 で約 34%であった。(参照 表 3.4.2-1)

表 3.4.2-1 各実験系の使用電力量

	実験系 1-従来型掛流し方式					
	電流値 (A)	電圧 (V)	稼働割合 (使用量/機器能力)	稼働率 (分/60分×100%)	力率	使用電力量 (kW/H)
取水ポンプ	6.9	200	0.53	100	0.8	1.02
ブロー	4.04	100	1	100	0.4	0.16
ろ過循環ポンプ	-	200	0	0	0.8	0.00
温調機	-	200	0	0	0.8	0.00
圧力式砂ろ過器用ポンプ	2.38	200	0	0	0.8	0.00
逆洗ブロー	5.3	200	0	0	0.4	0.00
<b>合計</b>						<b>1.18</b>

	実験系 2-半循環型システム 給水量50%削減					
	電流値 (A)	電圧 (V)	稼働割合 (使用量/機器能力)	稼働率 (分/60分×100%)	力率	使用電力量 (kW/H)
取水ポンプ	6.9	200	0.27	100	0.8	0.51
ブロー	4.08	100	1	100	0.4	0.16
ろ過循環ポンプ	1.9	200	0.15	100	0.8	0.08
温調機	5.8	200	1	0	0.8	0.00
圧力式砂ろ過器用ポンプ	2.37	200	0.3	100	0.8	0.20
逆洗ブロー	5.3	200	1	0	0.4	0.00
<b>合計</b>						<b>0.95</b>

削減率 約 19%

	実験系 3-半循環型システム 給水量75%削減					
	電流値 (A)	電圧 (V)	稼働割合 (使用量/機器能力)	稼働率 (分/60分×100%)	力率	使用電力量 (kW/H)
取水ポンプ	6.9	200	0.13	100	0.8	0.26
ブロー	4.02	100	1	100	0.4	0.16
ろ過循環ポンプ	1.96	200	0.3	100	0.8	0.16
温調機	5.8	200	1	0	0.8	0.00
圧力式砂ろ過器用ポンプ	2.41	200	0.3	100	0.8	0.20
逆洗ブロー	5.3	200	1	0	0.4	0.00
<b>合計</b>						<b>0.78</b>

削減率 約 34%

## 使用電力量算出方法

- ・平成 21 年 12 月 14 日～平成 22 年 2 月 5 日の間、1 週間に 1 度、各機器の電流値を測定し、稼働時電流値の平均を求めた。
- ・次の式より使用電力量(kW/H)を求めた。

$$\text{使用電力量} = \text{稼働時電流値}^{\ast 1} \times \text{電圧} / 1000 \times \text{稼働割合}^{\ast 2} \times \text{稼働率} / 100^{\ast 3} \times \text{力率}^{\ast 4} \times \sqrt{3}^{\ast 5}$$

※1：期間中の平均値

※2：例) 実験系 1 取水ポンプ 203L (使用量) / 380L (器機能力) = 0.53

例) 実験系 2 取水ポンプ 102L (使用量) / 380L (器機能力) = 0.27

例) 実験系 3 取水ポンプ 51L (使用量) / 380L (器機能力) = 0.13

例) 実験系 2 ろ過循環ポンプ 60L (使用量) / 400L (器機能力) = 0.15

例) 実験系 3 ろ過循環ポンプ 120L (使用量) / 400L (器機能力) = 0.3

例) 実験系 2、3 圧力式砂ろ過用ポンプ 60L (使用量) / 200L (器機能力) = 0.3

※3：測定期間中、温調機、逆洗ブロワーの稼働率はほぼ 0%であった。

※4：一般的な値とした。

※5：200V 機器のみ乗じる。

### 3.4.3 開発成果物による費用対効果と普及の見込みについて

本事業では、実証期間が 11 月から 2 月となり水温の下降期間であり、水温上昇期、高水温期の実証の課題が残されている。また、実証サイズも約 35mm から約 40mm となり、稚貝導入から出荷までの一貫した実証に至っていない。したがって、費用対効果、普及の見込みについては、これらが実証されてから改めて行なう必要がある。

### 3.5 半循環型システムに必要な補足調査と対策検討

給水量を削減することで懸念される、pH、アンモニア、ミネラルについて調査を行った。

#### 3.5.1 pH について

半循環型システムでは給餌に伴う有機物の酸化や呼吸による二酸化炭素の蓄積により pH が低下する。本飼育実験開始前には、この pH 低下が原因と考えられる斃死が発生し、対策を行なった。対策実施により、給水量 75%削減した実験系においても、良好な飼育を行なうことができたが、今後給水量をさらに削減した場合に予想される pH 低下に対する備えは必要である。ここでは、本事業の中で行なった pH 低下対策と、半循環型システムの発展に向けて新たに行なった pH に関する基礎調査実験についてまとめる。

(1) 本事業の中で行なった pH 低下対策

平成 21 年 5 月 11 日に約 30mm サイズ 60,000 個のエゾアワビを受け入れ、飼育を開始した。飼育開始から約 1 ヶ月後より斃死が発生し、水質や斃死の状況から、pH の改善が必要と判断された。そこで、下記の対策を実施した（表 3.5.1-1）

表 3.5.1-1 pH 改善対策まとめ

目的	対策内容	結果	考察
二酸化炭素低減	生物ろ過槽で曝気	効果なし	pH 低下原因は CO <sub>2</sub> でない
有機物除去	圧力式砂ろ過器設置	効果あり	pH 低下要因は有機物と推測された
有機物低減	配合→海藻給餌に変更	効果あり	
水質全般改善	給水量増加	効果あり	
新たな対策検討	固形有機物分解法 焼成ホタテ貝殻	調査中	—

アワビでは魚類と異なる水質管理が必要であることが明らかとなった。飼育水中の有機物を極力減らすためには、ろ過能力を高め、有害生物の繁殖を避けるとともに、pH 維持機能を備える必要がある。省エネを目的とした給水量の削減を果たすためには、成長に伴って排泄物などが増加しても飼育水の pH 低下を来さないよう設計する必要があると結論づけられた。

(2) 海水の pH 改善方法の検討

飼育水の pH 低下がアワビの成長に影響を与えるかの調査と、酸性に傾いた pH の改善手法について「固形有機物分解法」と「焼成ホタテ貝殻」の有効性について検証した。

ア 固形有機物分解法による実験

(ア) 目的

これまでの一般的なるろ過方法は、常に好気条件の下で行なう活性汚泥法や接触酸化法であった。固形有機物分解法は、処理槽内が好気、嫌気の状態となり、BOD・SS の分解と同時に硝化、脱窒も同時に行なうと言われている。この作用による pH 改善効果の検証を目的とした。

(イ) 材料・方法

- ① 実験期間：平成21年12月29日～平成22年2月24日（約2ヶ月間）
- ② 材料：エゾアワビ・・・39mmサイズ各実験区80個（10m<sup>3</sup>水槽から選別）  
実験設備・・・50L水槽2基（実験区1基、対照区1基）  
円形10m<sup>3</sup>水槽1基  
固形有機物分解処理槽1基
- ③ 設定：アワビ稚貝22,000個を収容した水槽（円形10m<sup>3</sup>水槽）の給水量を少なくすることで、pHが8を下回る酸性側に低下させた飼育排水を作り、下記の実験区を設置した。（参照 図3.5.1-1）  
対照区・・・排水をそのまま給水  
実験区・・・固形有機物分解処理槽を通過させた処理水を給水

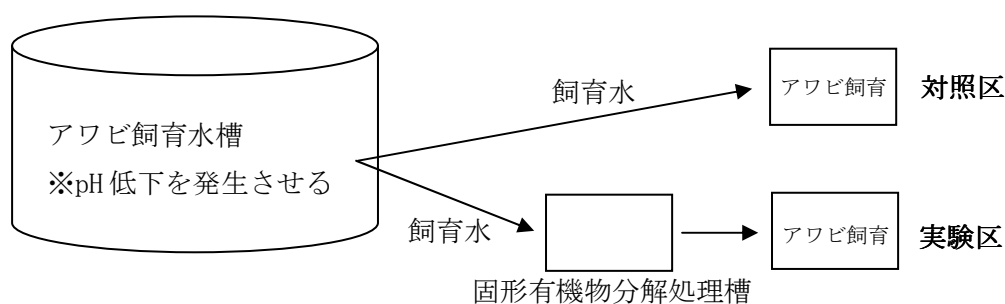


図 3.5.1-1 pH改善実験イメージ

- ④ 方法：飼育方法・・・掛流し型（十分な給水量）  
処理槽への通気・・・固形有機物分解処理槽の底層への通気を行った。  
給餌・・・配合飼料を毎日夕方1回給餌  
水温・・・10m<sup>3</sup>水槽は19℃設定、実験区、対照区は温調なし  
測定項目・・・水質：水温、pH、DO（毎日測定）  
アンモニア態N、亜硝酸態N、硝酸態N、CODを  
適時測定  
成長：開始時及び2ヵ月後に全個体の殻長及び体重



図 3.5.1-2 pH 改善実験 セッティング状況

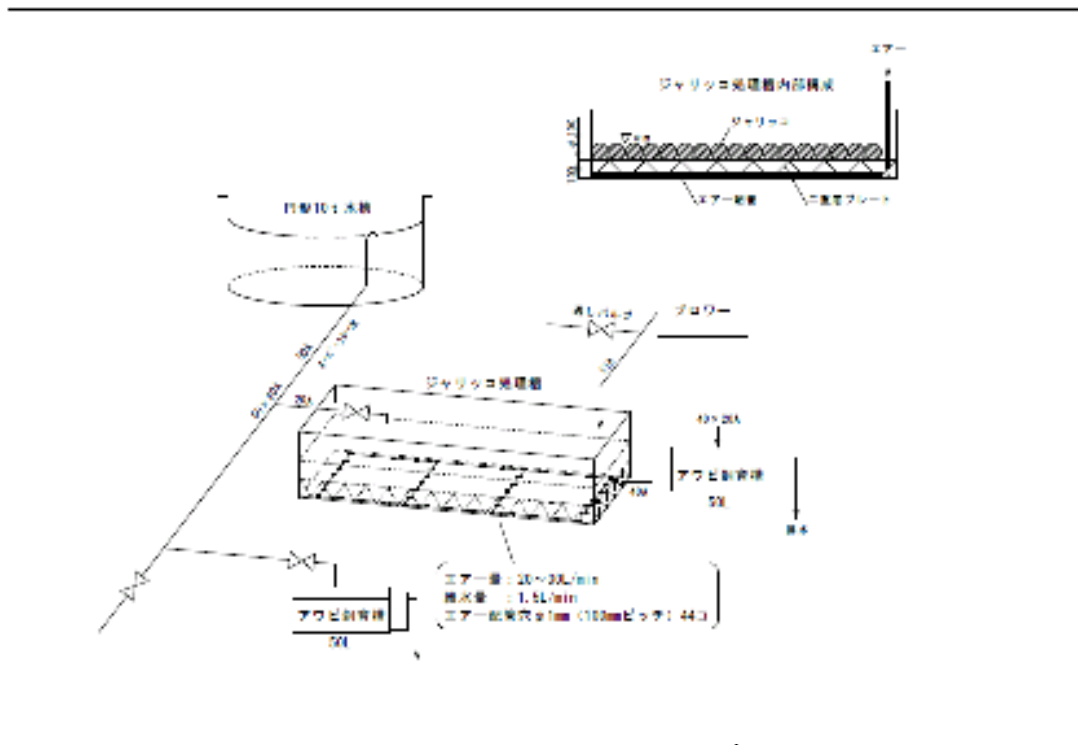


図 3.5.1-3 pH 改善実験配管系統図

(ウ) 結果

① 水質

固形有機物分解処理槽への流入水と処理水について、下表の項目について測定した (参照 表 3.5.1-2)。pHについては、7.75 から 7.86 の約 0.1 の改善が見られた。他の水質項目については BOD に低減が見られた。

表 3.5.1-2 固形有機物分解処理槽通過前後の水質測定結果（通気状態）

	pH	アンモニア態窒素 (mg/L)	亜硝酸態窒素 (mg/L)	硝酸態窒素 (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
流入水	7.75	0.35	0.011	0.3	ほぼ0	0.7
処理水	7.86	0.32	0.016	0.3	ほぼ0	0.4以下

② 成長

飼育水温約 19℃で2ヶ月間飼育を行なった結果、成長に差は見られなかった。

表 3.5.1-3 成長結果

		殻長 (mm)		体重 (g)	
		実験区	対照区	実験区	対照区
開始時	開始時	39.02	39.51	7.22	7.25
	標準偏差	2.18	1.98	0.82	0.86
	最大	44.00	44.90	8.90	8.86
	最小	31.90	35.50	6.07	6.00
2ヵ月後	平均	43.64	44.15	9.67	10.10
	標準偏差	2.61	2.36	1.94	1.67
	最大	48.60	49.20	14.07	13.39
	最小	37.20	39.20	5.72	6.39
<b>成長量(2ヶ月間)</b>		<b>4.62</b>	<b>4.65</b>	<b>2.45</b>	<b>2.85</b>
<b>日間成長量</b>		<b>0.073</b>	<b>0.074</b>	<b>0.039</b>	<b>0.045</b>

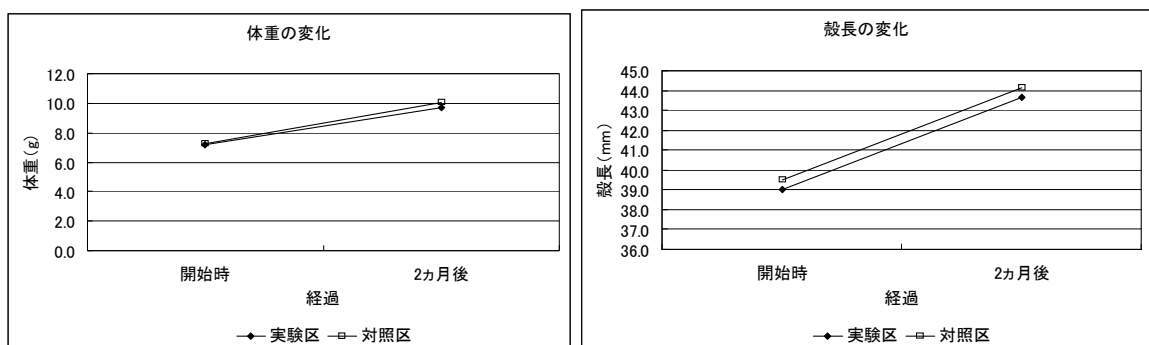


図 3.5.1-4 成長結果

### ③ 歩留り

斃死数は固形有機物分解処理区の方が対照区よりも少なかった。実験区、対照区共に、収容から 2 週間以内の斃死が多く、その後の斃死は少なかった。初期の斃死は 10m<sup>3</sup> 水槽での飼育状態が影響した個体と考えられる。

表 3.5.1-4 斃死数結果

	対照区	固形有機物分解処理区
初期収容個数(個)	80	80
斃死数(個)	16	10
生残数(個)	64	70

### (エ) 考察

固形有機物分解処理により、pH 値 7.7 前後から pH 値 8 以上への改善を予想して実験を行なったが、そこまでの効果は見られなかった。pH 値と成長の関係については、今回 pH 約 7.7 と 7.8 の間では差が見られず、今後、より pH 値の差が大きい比較実験が必要である。

## イ 焼成ホタテ貝殻(粉末・液体)を利用した実験

### (ア) 目的

焼成ホタテ貝殻は、その水溶液が強アルカリ性となり、現在は野菜などの殺菌洗浄用として使用されている。アワビ飼育水の pH 改善への利用も期待できるため、ここでは効果と形態(粉末・液体)の違いによる有効性について比較検討することを目的とした。

### (イ) 実験内容と結果

#### ① 焼成ホタテ貝殻の形態の違いによる有効性比較実験

目的 粉末と液体の効果を計測し比較する。

結果 粉末の方が少量での pH 改善効果があった。粉末と液体では、同程度 pH を上げるために必要な量に約 1000 倍の差があった。

表 3.5.1-5 焼成ホタテ貝殻-粉末の pH 改善効果

試験水量 (L)	添加量(g)	添加前pH	添加後pH	濃度 (ppm)
10	0.03	8.15	8.23	3
10	0.1	8.09	8.59	10
10	1	8.09	10.4	100

条件：海水に焼成ホタテ粉末を添加、攪拌して pH確認。

結果：溶解性が低いですが pHは上がった。

pHが8を下回った時、5ppm程度の添加が適量。

本試験水槽4.5m<sup>3</sup>には22.5gとなる。

表 3.5.1-6 焼成ホタテ貝殻-液体の pH 改善効果

初期 pH	累積添加量 (ml)	添加後 pH	添加濃度 (ppm )
8.16	0.1	8.20	333
	0.3	8.24	1000
	1.0	8.41	3333
	1.5	8.53	5000
	2.0	8.64	6667
	3.0	8.81	10000
	4.0	8.94	13333
	5.0	9.08	16667

条件：海水300mlに焼成ホタテ水を滴下。

結果：pHは上がるが粉末の約1000倍量必要。

本試験水槽4.5m<sup>3</sup>には22.5Lとなる。

## ②pHが低い原水に対する焼成ホタテ貝殻のpH改善効果確認実験

目的 pHが低い状態ではホタテ貝殻の溶解度が低く、pHの改善効果が小さくなることが予想された。そこで、異なるpH水に対する焼成ホタテ貝殻のpH改善効果を調査した。

結果 粉末、液体共にpHの低い原水へのpH改善効果が高いことが判った。

①実験の結果と同様に、粉末の方が改善効果が大きかった。

表 3.5.1-7 異なるpH海水に焼成ホタテ貝殻-粉末を添加した時のpH変化

初期pH	7.38	7.50	7.70	7.90	8.07	8.30
焼成ホタテ貝殻-粉末添加後pH	8.24	8.39	8.65	8.48	8.59	8.75
pH改善値	0.86	0.89	0.95	0.58	0.52	0.45

条件・・・海水500mLに対し、各々5mg添加（10ppm）した。

初期水のpH調整には塩酸または水酸化ナトリウムを使用した。

表 3.5.1-8 異なるpH海水に焼成ホタテ貝殻-液体を添加した時のpH変化

初期pH	7.30	7.54	7.70	7.90	8.10	8.30
焼成ホタテ貝殻-液体添加後pH	7.45	7.69	7.85	8.03	8.19	8.38
pH改善値	0.15	0.15	0.15	0.13	0.09	0.08

条件・・・海水500mLに対し、各々0.5mL添加（1000ppm）した。

初期水のpH調整には塩酸または水酸化ナトリウムを使用した。

### (ウ) 考察

焼成ホタテ貝殻は海水のpH改善効果があり、粉末については添加量が僅かで済み、価格も安価であったことから、経済的に見ても有効と考えられた。使用方法や、アワビへの影響について、追加調査を行なう必要がある。

### 3.5.2 アンモニアについて

#### (1) 目的

アワビの養殖生産において、アワビの排泄量及び残餌の分解によって生ずるアンモニアはアワビの呼吸や代謝に悪影響を及ぼすことが知られている。特に、給水量を減じた飼育においてはこの影響が顕著となり得るので、許容されるアンモニア態 N 濃度を明らかにすることを目的とした。

#### (2) 材料・方法

ア 実験期間：平成 21 年 4 月 2 日～4 月 20 日（19 日間）

イ 材料：エゾアワビ・・・40mm サイズ各実験区 30 個、50mm サイズ各実験区 29 個  
50L 水槽 12 基（6 区×2 サイズ=12 区）

ウ 設定：アンモニア態 N 濃度 0、0.01、0.02、0.05、0.1、0.2mg/L

エ 方法：飼育方法・・・掛流し型（十分な給水量）

アンモニア態 N 濃度調整・・・塩化アンモニウム溶液を実験水槽に滴下  
給餌・・・配合飼料を毎日夕方 1 回給餌

水温管理・・・ウォーターバス方式で全水槽約 18℃

測定項目・・・水質：水温、pH、DO、塩分濃度、アンモニア態 N 濃度  
成長：殻長、体重（実験開始時、終了時に全数測定）

#### (3) 結果

設定したアンモニア態 N 濃度（0～0.2mg/L）と成長の間に明確な関係は認められなかった（参照 図 3.5.2-1）。魚類飼育での生物ろ過によるアンモニア浄化の経験から、0.2mg/L 以下に維持できるノウハウは現有しており、活用できることが判った。

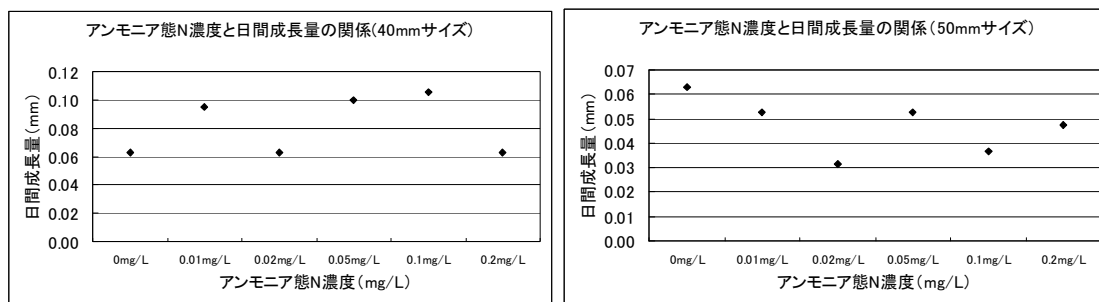


図 3.5.2-1 アンモニア態 N 濃度と日間成長量の関係

#### (4) 考察

給水を削減した時に最も成長阻害となる要因をアンモニア態 N と想定していたが、今回の結果より、アンモニア態 N 濃度は 0.2mg/L 以下の範囲であれば成長に影響を与えず、魚類飼育のアンモニア浄化能力と同等のろ過能力で対応できることが判った。

平成 20 年度の給水量の臨界点調査実験では、成長に影響が見られない臨界給水量が 52mm サイズで DO 利用率 30%と判断された。この時、DO 利用率 40%でも飼育水の DO は 80%以上、アンモニア態 N 濃度は 0.2mg/L 以下であり、これらが成長抑制要素となっていたとは考え難く、pH が 8.0 を下回る状態が成長に影響を及ぼしていたと推察された（参照 表 3.5.2-1）。

表 3.5.2-1 給水量臨界点調査実験期間中の水質結果

実験期間中水質の平均値(52mm 40個収容)

	酸素利用率					
	20%	30%	40%	50%	60%	70%
水温 (°C)	17.0	17.2	17.3	17.4	—	—
pH	8.05	7.99	7.93	7.88	—	—
DO (mg/l)	7.80	7.03	6.31	6.08	—	—
DO (%)	103	93	84	81		
塩分 (‰)	34	34	34	34	—	—
アンモニア態窒素 (mg/l)	0.2以下	0.2以下	0.2以下	0.2以下	—	—
硝酸性窒素 (mg/l)	0.2以下	0.2以下	0.2以下	0.2以下	—	—

#### 3.5.3 ミネラルについて

本飼育実験では、給水を 75%削減してもミネラル (Ca イオン) の不足による影響は表れなかったが、今後さらに給水量を削減した場合にはミネラルの補充が必要になると考えられる。ここでは、その準備として、基礎的な知見を収集することとした。ミネラル添加資材として、pH 改善効果が見られ、Ca イオンの補充も期待できる焼成ホタテ貝殻 (粉末、液体) を採用した。

(1) 基礎調査実験

ア 焼成ホタテ貝殻（粉末・液体）の特性調査と利用方法検討実験

(ア) 目的

蒸留水や海水、異なる pH 海水などを用いた実験から、焼成ホタテ貝殻は使用方法によって効果に差が出ることが判った。そこで、焼成ホタテ貝殻の特性を理解し、有効な利用方法について調査検討することを目的とした。

(イ) 実験内容と結果

① 焼成ホタテ貝殻の添加量に対するCaイオン補充効果調査実験

目的：添加量により Ca イオン補充効果が異なることが予想されたため、確認実験を行なった。

結果：液体、粉末共に、少量の添加量では Ca イオン濃度が低下し、ある添加濃度を境に上昇することが明らかとなった。pH は液体、粉末共に 10.7 付近で平衡値となった。

表 3.5.3-1 焼成ホタテ貝殻－粉末の添加量と pH、Ca<sup>2+</sup>濃度変化

積算添加量 (mg)	添加前	10	25	55	120	200	300	500
pH	7.97	8.86	9.52	10.31	10.7	10.67	10.67	10.68
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	135	132	129	122	112	128	145	191

条件・・・海水500mLに対し、添加した。

表 3.5.3-2 焼成ホタテ貝殻－液体の添加量と pH、Ca<sup>2+</sup>濃度変化

積算添加量 (mL)	添加前	2	5	10	20	40	60	80	100	200
pH	8.05	8.40	8.71	9.07	9.70	10.61	10.65	10.62	10.65	10.71
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	158	156	153	151	146	125	126	128	125	126

条件・・・海水500mLに対し、添加した。

## イ 焼成ホタテ貝殻（粉末）の利用方法検討実験

### （ア）目的

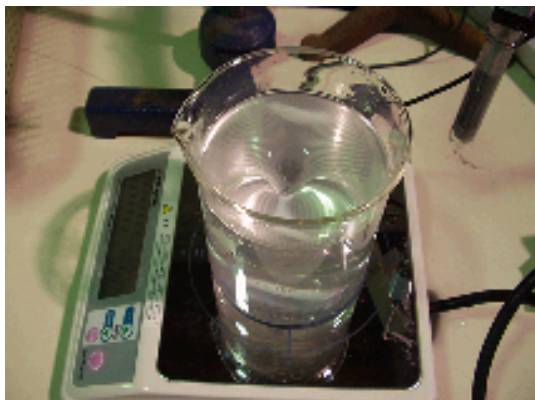
これまでの実験結果から、焼成ホタテ貝殻粉末には非常に高い pH 改善効果、Ca イオン補充効果があることが判った。この焼成ホタテ貝殻粉末の使用方法を検討するにあたり、pH が海水よりも明らかに高いことと、溶解水が白濁していることの解決が必要と考えられた。そこで、白濁の原因物質と考えられる  $\text{CaCO}_3$  の溶解と pH 調整のため、希塩酸を添加し、その時の液状と Ca イオンの変化を調査した。

### （イ）結果

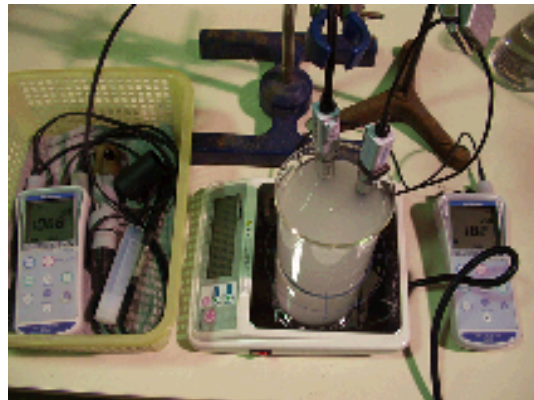
希塩酸を添加することで Ca イオン濃度は上昇し、透明化して行くことが明らかとなった。また、この高濃度 Ca 溶解水は、希塩酸を添加しても pH の低下が非常に遅く、pH 緩衝能力が非常に高いという利点を備えていることも判った。

表 3.5.3-3 希塩酸による pH 調整時の  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度変化

	添加前	添加後
pH	10.68	8.50
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	191	288



希塩酸添加前



希塩酸添加後

図 3.5.3-1 液状の変

## ウ 考察

焼成ホタテ貝殻粉末の溶解水は、その溶解方法によって、Ca イオンの補充に非常に有効であると考えられた。また、その pH 緩衝能力の高さから、循環式養殖で懸念される pH の低下に対しても有効と考えられた。

使用にあたっては、補充前の溶解に時間がかかること、pH 調整が必要なことなど、別途溶解システムが必要となり、コスト面での課題が残されているが、循環式養殖の有望な資材となる可能性が大きいと考えられる。

## (2) 焼成ホタテ貝殻（粉末）を用いた飼育実験

### ア 目的

焼成ホタテ貝殻（粉末）溶解水を添加した飼育水がアワビの成長や歩留りに影響を与えるかを調査することを目的とした。

### イ 材料・方法

(ア) 実験期間：平成 22 年 1 月 28 日～2 月 25 日（約 1 ヶ月間）

(イ) 材料：エゾアワビ・・・40mm サイズ各実験区 10 個

実験設備・・・50L 水槽 2 基

(ウ) 設定：実験区・・・焼成ホタテ貝殻（粉末）の溶解水を実験開始時と 2 週間後に添加した。

対照区・・・上記添加なし

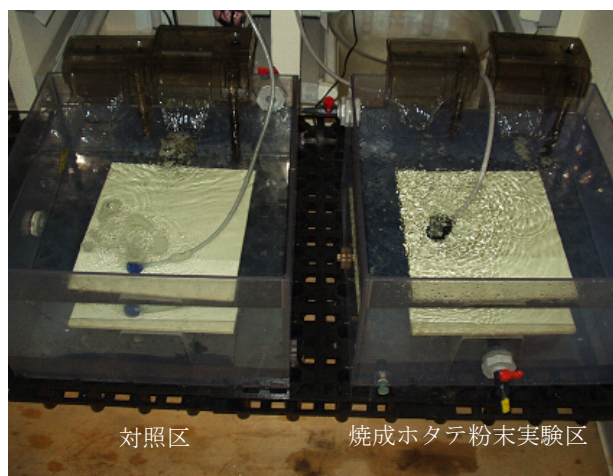
(エ) 方法：飼育方法・・・完全閉鎖循環型、温調なし

Ca イオン添加・・・焼成ホタテ貝殻粉末の溶解水（pH 調整済み）を添

加

給 餌・・・塩蔵コンブを同量給餌

測定項目・・・水質：水温、pH、アンモニア態 N 濃度、Ca イオン濃度



成長：殻長、体重（実験開始時、終了時に全数測定）

図 3.5.3-2 飼育実験の様子

## ウ 結果

### (ア) 水質

対照区の Ca イオン濃度は経過日数と共に少しずつ低下する傾向があった。実験区の Ca イオン濃度は対照区よりも平均で約 20%高かった。pH その他に明確な差は見られなかった。

表 3.5.3-4 実験期間中の水質

	水温 (°C)		Caイオン (mg/L)		pH		アンモニア態窒素	
	対照区	実験区	対照区	実験区	対照区	実験区	対照区	実験区
開始時	13.4	13.4	93.8	109	8.16	8.22	0.2以下	0.2以下
1週間後	10.2	10.2	93.6	107	8.14	8.20	0.2以下	0.2以下
2週間後	15.4	15.4	82.7	97.3	8.24	8.26	0.2	0.2
3週間後	12.3	12.3	83.0	108	8.16	8.18	0.2	0.2
4週間後	18.1	18.1	83.8	107	8.31	8.31	0.2	0.2

### (イ) 成長

飼育実験期間が 1 ヶ月と短く、焼成ホタテ貝殻の影響を見るデータとしては不十分であるが、この間の殻長の伸びは対照区の方が大きく、増重量は実験区が大きかった。実験期間中の摂餌行動に明確な差は見られなかった。

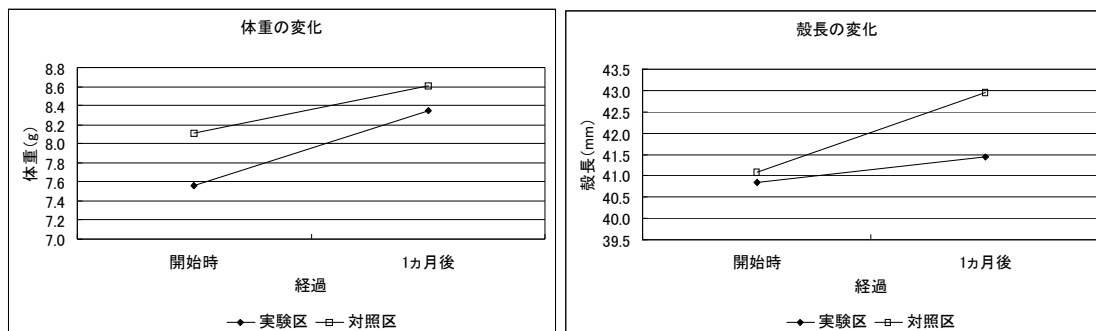


図 3.5.3-3 成長結果

### (ウ) 歩留り

実験期間中、実験区、対照区共に斃死は発生しなかった。

#### (エ) 考察

焼成ホタテ貝殻粉末のアワビに対する影響を調査し、摂餌行動や歩留りから、少なくとも悪影響はないと考えられた。焼成ホタテ粉末の溶解水添加により、Ca イオン濃度を高く保つことで、殻長の伸びを予想していたが、今回の実験からは、その効果は見られなかった。アワビの飼育にはCa イオンは必要不可欠なものと考えられ、飼育期間を延長してさらに追加調査する。

#### 4. 技術開発の評価

本事業ではアワビ養殖に必要な揚水量の削減目標を、平成20年度事業計画時当初に設定した50%と、挑戦の意味で新たに75%を設定した。本飼育実験の結果から、自然水温が22℃を下回る11月上旬から2月下旬の期間において、給水量を75%削減した半循環型においても問題なく飼育が行なえることを実証し、目標値をクリアした。

しかしながら、半循環型の最大のメリットは、温度調整により飼育期間を短縮し、総合的な省エネ化＝生産コストの削減を行ない、アワビ養殖を魅力ある事業にできることである（以後 温調半循環型）。本事業の中では、この部分を実証するに至らず、今後の課題として残された。温調半循環型を効果的に行なうには、更なる揚水量の削減が必要となり、pH低下やミネラルの減少が懸念されるが、この点においては固形有機物分解法や焼成ホタテ貝殻という有望な処理法、資材が見つかり、今後も検証を続けることで温調半循環型アワビの養殖が実現可能になるものと考えられる。

#### 5. 導入のあり方

半循環型システムの導入としては、①既存掛流し型設備へのろ過設備追加導入、②新規設備一式導入の両方が可能である。半循環型システムは掛流し型と比較し大幅な揚水量削減が可能となり、養殖候補地の選択範囲が広がるが、アワビに適正な水質であるかの調査が重要である。

また、温度調整を行なう場合、温度調整にかかるコストが立地条件や建屋構造条件にも左右されるので、イニシャルとランニングを総合的に判断し、その場所場所に応じた設置、施工方法の検討が必要である。

さらに、事業化の際には、生産物の販路確保、差別化（時期、サイズ）についても十分な検討と取り組みが必要と考える。温調半循環型養殖が可能となれば、品薄期に照準を合わせた出荷時期の選定等で差別化ができると考えられる。